

## 高炉スラグ微粉末高含有コンクリートの強度特性に関する検討

戸田建設株式会社 正会員 ○土師 康一 正会員 田中 徹  
 正会員 新谷 岳 正会員 澤村 淳美  
 西松建設株式会社 正会員 椎名 貴快 正会員 我彦 聡志  
 株式会社フローリック 正会員 小池 晶子

### 1. はじめに

近年、環境負荷低減を目的として、セメント製造過程でのCO<sub>2</sub>削減を図るため、結合材であるセメント使用量を抑制し、代替材料として副産物である高炉スラグ微粉末やフライアッシュを使用したコンクリート配合の開発が進められている。本稿では、高炉スラグ微粉末をセメントに対して70%置換した高炉スラグ微粉末高含有コンクリートについて、硬化コンクリートの強度特性に着目し検討した結果について報告する。

### 2. 配合および使用材料

表-1に使用材料を、表-2に今回検討における試験配合を示す。配合については、セメントとして普通ポルトランドセメントを使用し、セメント使用量を抑制するため、高炉スラグ微粉末4000(せっこう添加品(SO<sub>3</sub>換算：質量比2.0%))を単位粉体量の70%使用した配合としている。

### 3. 試験概要

今回検討では、環境温度を5℃、20℃、35℃に設定した試験室内において、水結合材比(W/B)を32%、40%、45%の3水準とした試験配合を、各環境温度で練混ぜ、凝結試験ならびに材齢7、28、56、91日における圧縮強度試験を行った。

試験配合は、暑中コンクリートを想定した環境温度35℃条件のみ、化学混和剤として高性能AE減水剤(遅延形)を使用し、5℃、20℃環境については標準形を使用した。また、供試体については、材齢3日まで試験時の環境温度で気中養生を行い、その後、試験材齢まで20℃水中で標準養生を行った。

### 4. 試験結果および考察

図-1に今回検討で行った、各環境温度における凝結試験結果について示す。図中、縦棒は凝結の始発から終結までの凝結時間を示し、参考として早強セメント配合の5℃環境でのデータを併記した。今回試験では、図に示すように水結合材比の違いによる凝結時間の差はほとんど見られなかった。一方、環境温度を5℃とした寒中環境下における試験結果は、各水結合材比とも凝結時間が長く、また、凝結の始発・終結も他の環境温度の配合より大きく遅延する傾向が見られ、これは、セメントを早強セメントに変更しても大きな改善は見られなかった。このことから、高炉スラグ微粉末高含有コンクリートを寒中条件下で施工する場合には、凝結初期の養生温度を制御することが、特に重要になると考える。

表-1 使用材料

材料	記号	仕様
水	W	上水道水
セメント	OPC	普通ポルトランドセメント 密度:3.16g/cm <sup>3</sup> ,比表面積:3,260cm <sup>2</sup> /g
混和材	BFS	高炉スラグ微粉末4000 密度:2.89g/cm <sup>3</sup> ,比表面積:4,460cm <sup>2</sup> /g
細骨材	S1	千葉県市原産山砂 表乾密度:2.59g/cm <sup>3</sup> ,吸水率:2.48%
	S2	大分県津久見産石灰砕砂 表乾密度:2.68g/cm <sup>3</sup> ,吸水率:1.57%
粗骨材	G	北海道北斗産石灰砕砂 表乾密度:2.70g/cm <sup>3</sup> ,吸水率:0.53%
混和剤	SP	高性能AE減水剤(標準形I種・遅延形I種) ポリカルボン酸系化合物,リガニルホン酸塩

表-2 試験配合

BFS置換率 (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )						混和剤 SP (B×%)
			W	B		S1	S2	G	
				OPC	BFS				
70	32.0	43.1	175	164	383	580	257	915	1.00
	40.0	47.2	170	128	298	549	244	915	1.05
	45.0	48.6	170	113	264	466	207	915	1.10

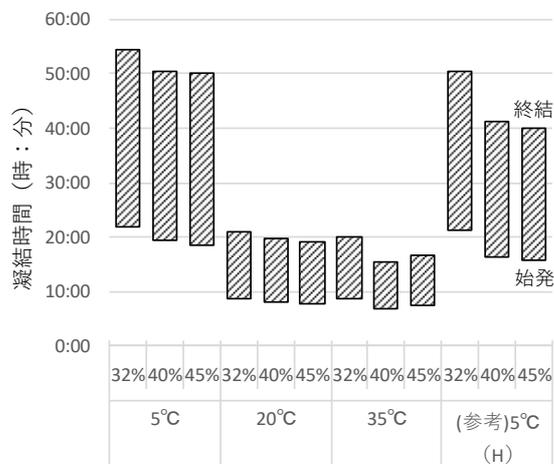


図-1 凝結試験結果

キーワード 高炉スラグ微粉末、環境負荷低減、低炭素型、凝結時間、強度発現  
 連絡先 〒104-8388 東京都中央区京橋 1-7-1 戸田建設(株) 本社土木工事技術部 TEL: 03-3535-1614

図-2に今回試験配合の試験材齢(7日, 28日, 56日, 91日)における圧縮強度試験結果について示す. また, 参考のため, 『コンクリート標準示方書(設計編)』<sup>1)</sup>の強度推定式を基にした普通ポルトランドセメントならびに高炉セメントB種コンクリートの各材齢における圧縮強度についても併記した. 図より, 各材齢での圧縮強度は概ね結合材水比に比例する一方, 同一水結合材比で比較すると, 今回試験配合については, セメント使用量が少ないため, 結合材としてセメントのみを使用した配合に比べて, 材齢28日以降では, 同程度もしくは低い強度となった.

また, 図-3に今回試験配合の材齢91日強度に対する試験材齢での強度増分を示し, 比較として, 『コンクリート標準示方書(設計編)』<sup>1)</sup>の強度推定式を基にした普通セメントならびに高炉セメントB種コンクリートの各材齢での強度増分を併記した. 図より, 今回検討配合では, 水結合材比の違いにより強度発現が若干異なるが, 概ね材齢7日で70~75%(91日強度比), 材齢28日で90~95%(91日強度比)の強度発現となった. ここから, 強度増分に着目すると, 今回試験配合については, 高炉セメントB種コンクリートよりも普通セメントコンクリートに近い強度発現性であることが確認された.

図-4に今回試験ならびに既往の文献<sup>2)</sup>における同種配合(高炉スラグ微粉末置換率70%, 普通セメント使用)の結合材水比と材齢28日における圧縮強度の関係について示す. 図より, 高炉スラグ微粉末の置換率が70%程度のコンクリートでは, 圧縮強度は概ね結合材水比の一次式で線形近似でき, また, 同一結合材水比における材齢28日での圧縮強度は高炉スラグB種セメントコンクリートと同程度であることが確認された.

5. まとめ

今回検討の高炉スラグ高含有コンクリート(高炉スラグ微粉末置換率70%, 普通セメント使用)では, 以下のことが確認された.

- (1) 凝結試験の結果から, 練混ぜ時の環境温度が低い条件下では, とくに凝結遅延が見られることから, 寒中条件下で施工する場合には, 凝結初期の養生温度の制御が重要となる.
- (2) 材齢91日強度に対する試験材齢(7日, 28日, 56日, 91日)での強度増分に着目すると, 今回試験配合の強度発現性は, 普通セメントコンクリートに近い強度発現性が確認された.
- (3) 結合材水比と材齢28日の圧縮強度の関係については, 概ね, 結合材水比の一次式で線形近似でき, 同一結合材水比での圧縮強度は, 高炉セメントB種コンクリートと同程度となった.

参考文献

1) 土木学会: 2012年制定コンクリート標準示方書(設計編), 2013.3  
 2) (国研)土木研究所・戸田建設(株)・西松建設(株): 低炭素型セメント結合材の利用技術に関する共同研究報告書(V), 2016.1

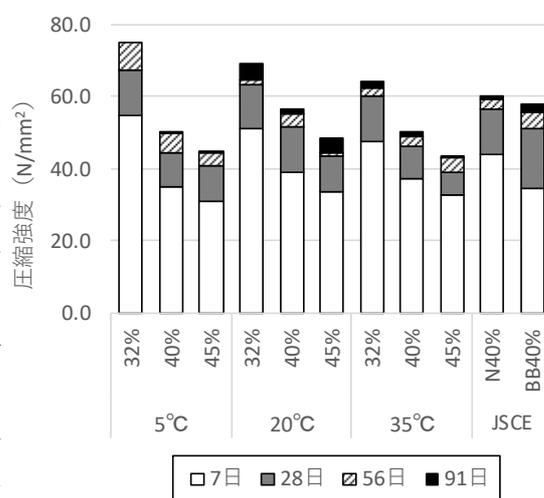


図-2 各環境温度における強度発現性

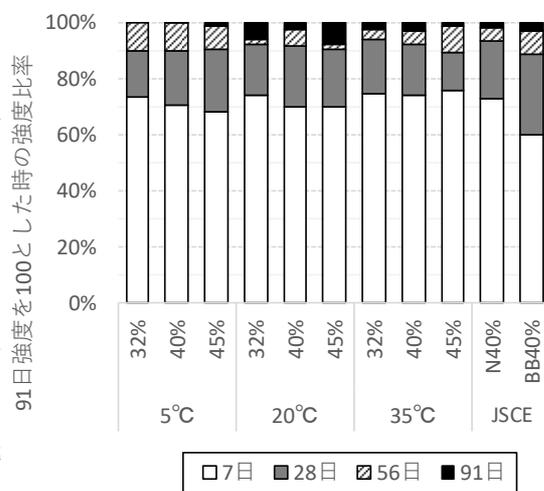


図-3 91日強度に対する材齢強度増分

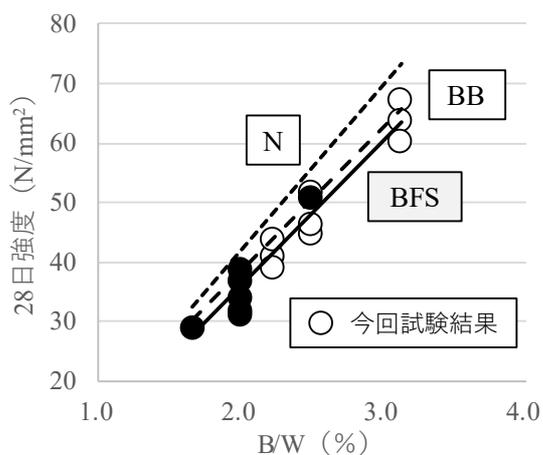


図-4 結合材水比と圧縮強度の関係 (材齢28日)